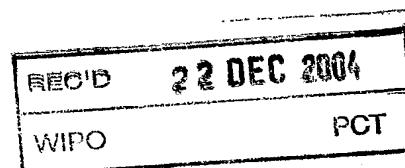


PCT/FR 2004/050729
22 DEC. 2004

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**COPIE OFFICIELLE**

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 30 NOV. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

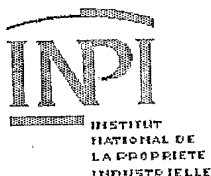
DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr





BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITE

26bis, rue de Saint-Petersbourg
75800 Paris Cédex 08
Téléphone: 01 53.04.53.04 Télécopie: 01.42.94.86.54

Code de la propriété intellectuelle-livre VI

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

DATE DE REMISE DES PIÈCES: N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL: DÉPARTEMENT DE DÉPÔT: DATE DE DÉPÔT:	Jean LEHU BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS France
Vos références pour ce dossier: B 14469 PV DD 2633	

1 NATURE DE LA DEMANDE			
Demande de brevet			
2 TITRE DE L'INVENTION			
		PROCÉDE DE MESURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIÉE À UNE MESURE PAR DOUBLE INTEGRATION	
3 DECLARATION DE PRIORITE OU REQUETE DU BENEFICE DE LA DATE DE DEPOT D'UNE DEMANDE ANTERIEURE FRANCAISE		Pays ou organisation	Date N°
4-1 DEMANDEUR			
Nom Rue Code postal et ville Pays Nationalité Forme juridique		COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31-33, rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème France France Etablissement Public de Caractère Scientifique, technique et Ind	
5A MANDATAIRE			
Nom Prénom Qualité Cabinet ou Société Rue Code postal et ville N° de téléphone N° de télécopie Courrier électronique		LEHU Jean Liste spéciale: 422-5 S/002, Pouvoir général: 7068 BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 01 53 83 94 00 01 45 63 83 33 brevets.patents@brevallex.com	
6 DOCUMENTS ET FICHIERS JOINTS		Fichier électronique	Pages
Texte du brevet		texte brevet.pdf	22
Dessins		dessins.pdf	1
Désignation d'inventeurs		Détails	
Pouvoir général		D 19, R 2, AB 1 page 1, figures 3, Abrégé: page 1, Fig.1	

7 MODE DE PAIEMENT				
Mode de paiement		Prélèvement du compte courant		
Numéro du compte client		024		
8 RAPPORT DE RECHERCHE				
Etablissement immédiat				
9 REDEVANCES JOINTES				
	Devise	Taux	Quantité	Montant à payer
062 Dépôt	EURO	0.00	1.00	0.00
063 Rapport de recherche (R.R.)	EURO	320.00	1.00	320.00
Total à acquitter	EURO			320.00

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire.
Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

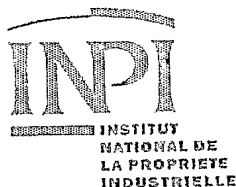
Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Réception électronique d'une soumission

Il est certifié par la présente qu'une demande de brevet (ou de certificat d'utilité) a été reçue par le biais du dépôt électronique sécurisé de l'INPI. Après réception, un numéro d'enregistrement et une date de réception ont été attribués automatiquement.

Demande de brevet : X

Demande de CU :

DATE DE RECEPTION	22 décembre 2003	
TYPE DE DEPOT	INPI (PARIS) - Dépôt électronique	Dépôt en ligne: X
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUE PAR L'INPI	0351167	Dépôt sur support CD:
Vos références pour ce dossier	B 14469 PV DD 2633	

DEMANDEUR

Nom ou dénomination sociale	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Nombre de demandeur(s)	1
Pays	FR

TITRE DE L'INVENTION

PROCEDE DE MESURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIEE A UNE MESURE PAR DOUBLE INTEGRATION

DOCUMENTS ENVOYES

package-data.xml	Requetefr.PDF	fee-sheet.xml
Design.PDF	ValidLog.PDF	textebrevet.pdf
FR-office-specific-info.xml	application-body.xml	request.xml
dessins.pdf	indication-bio-deposit.xml	

EFFECTUE PAR

Effectué par:	J. Lehu
Date et heure de réception électronique:	22 décembre 2003 15:58:59
Empreinte officielle du dépôt	0A:75:D0:5E:DC:31:8A:C4:C6:9E:CB:71:93:46:81:3F:0F:82:03:33

/ INPI PARIS, Section Dépôt /

SIEGE SOCIAL
INSTITUT 26 bis, rue de Saint Petersburg
NATIONAL DE 75800 PARIS cedex 08
LA PROPRIÉTÉ Téléphone : 01 53 04 53 04
INDUSTRIELLE Télécopie : 01 42 93 59 30

**PROCEDE DE MESURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT
UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIEE A UNE MESURE PAR DOUBLE
INTEGRATION**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un procédé
5 permettant de mesurer - on dit aussi capturer (en
anglais « sense ») - le mouvement d'un objet ou, plus
précisément, d'un solide, c'est-à-dire de mesurer les
déplacements de ce solide.

On rappelle que tout déplacement d'un
10 solide se décompose en une translation et une rotation
(mais peut se limiter à une simple translation ou à une
simple rotation).

L'invention s'applique en particulier à la
capture des mouvements du corps humain.

15 Elle trouve ainsi des applications par
exemple dans le domaine sportif, le domaine médical, le
cinéma, le multimédia et la réalité augmentée.

L'invention permet de capturer un mouvement
de façon fiable et peu coûteuse, même dans le cas d'un
20 mouvement rapide d'une personne.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On se reportera au document suivant :

25 [1] WO 03/085357A, demande internationale
numéro PCT/FR03/01025, déposée le 2 avril 2003,

« Dispositif de capture des mouvements de rotation d'un solide », invention de Dominique David et Yanis Caritu.

L'invention complète la technique qui est
5 décrite dans le document [1] et qui utilise un
dispositif appelé « centrale d'attitude », comprenant
au moins un capteur de position angulaire (de
préférence au moins un accéléromètre et au moins un
magnétomètre). L'invention permet d'accroître les
10 performances de cette technique, en particulier dans le
cas de mouvements rapides.

On connaît en effet diverses techniques
plus ou moins performantes pour déterminer le
déplacement d'un objet mobile. On connaît en
15 particulier la méthode de double intégration à partir
de mesures d'accélération, effectuées au moyen d'un ou
de plusieurs accéléromètres.

Cette méthode de double intégration est
mise en œuvre dans les systèmes de positionnement
20 appelés « systèmes inertiels » et donne de bons
résultats, même dans le cas de mouvements rapides ou,
plus précisément, de mouvements dont la vitesse varie
rapidement. Cependant, la double intégration de signaux
fournis par des accéléromètres est une source de dérive
25 du positionnement.

Afin de limiter cette dérive, en
particulier dans le domaine de l'aviation ou le domaine
spatial, on est amené à utiliser des accéléromètres qui
sont très performants mais malheureusement très
30 coûteux.

On connaît en outre la méthode de mesure absolue d'un mouvement, à partir d'un ou de plusieurs accéléromètres et d'un ou de plusieurs magnétomètres. Cette méthode n'est pas source de dérive mais permet
5 seulement de mesurer le mouvement d'un objet dont la vitesse varie lentement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de
10 remédier aux inconvénients des méthodes connues de mesure du mouvement d'un solide, que l'on a mentionnées plus haut, à savoir la méthode de mesure absolue et la méthode de double intégration, en vue d'obtenir une méthode qui n'est pas source de dérive du
15 positionnement et peut être mise en œuvre pour étudier des mouvements dont la vitesse varie rapidement.

Selon un aspect de l'invention, on combine la méthode de double intégration et la méthode de mesure absolue afin de recalibrer les mesures fournies par
20 la méthode de double intégration, au moyen des mesures fournies par la méthode de mesure absolue, ces dernières mesures étant prises en compte lorsque le solide dont on mesure le mouvement ralentit ou, plus précisément, lorsque la vitesse de ce solide varie
25 lentement.

De façon précise, la présente invention a pour objet un procédé de mesure du mouvement d'un solide, procédé dans lequel on mesure au moins un premier degré de liberté de ce solide, ce procédé
30 comprenant une série d'étapes de mesure de l'accélération du solide et de double intégration des

mesures ainsi effectuées pour obtenir des valeurs successives du premier degré de liberté, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre une série d'étapes de mesure absolue d'au moins un deuxième degré de liberté du solide, ce deuxième degré de liberté étant une rotation, à l'aide d'au moins un capteur de rotation, et en ce que l'on choisit un critère de lenteur du mouvement (plus précisément un critère de variation lente de la vitesse du solide) et, si le mouvement satisfait à ce critère après l'une des étapes de mesure du deuxième degré de liberté, on utilise la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, pour recalculer (en anglais « update ») le premier degré de liberté.

Dans la présente invention, on peut utiliser la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, en tant que condition initiale pour obtenir, par double intégration, la valeur du premier degré de liberté qui suit les valeurs précédemment obtenues de ce premier degré de liberté.

Selon un mode de mise en œuvre particulier du procédé objet de l'invention, on mesure une pluralité de premiers degrés de liberté, au moins l'un des premiers degrés de liberté est une rotation et le deuxième degré de liberté est choisi parmi cette pluralité de premiers degrés de liberté.

Selon un autre mode de mise en œuvre particulier du procédé objet de l'invention, le premier degré de liberté est une rotation et le deuxième degré de liberté est identique à ce premier degré de liberté.

Dans la présente invention, les étapes de mesure absolue et les étapes de mesure de l'accélération du solide peuvent être simultanées, chaque étape de mesure absolue ayant ainsi lieu en même temps qu'une étape de mesure de l'accélération du solide.

De préférence, le capteur de rotation est choisi parmi les accéléromètres et les magnétomètres (et l'on mesure donc le deuxième degré de liberté à l'aide d'au moins un accéléromètre et/ou d'au moins un magnétomètre).

Le critère de lenteur du mouvement peut être la situation d'une fonction de la norme de l'accélération du solide en deçà d'un seuil prédéfini (en anglais « predetermined »).

Cette fonction peut être cette norme elle-même.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre schématiquement un dispositif pour la mise en œuvre d'un exemple du procédé objet de l'invention, et

- les figures 2 et 3 illustrent schématiquement des exemples de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans un exemple de l'invention, on cherche à déterminer en permanence la position d'un objet, plus précisément d'un solide, en mesurant les valeurs des
5 six degrés de liberté de ce solide.

Le dispositif (centrale d'attitude) décrit dans le document [1] permet de mesurer les trois degrés de liberté angulaires du solide. La présente invention permet de compléter ce dispositif connu par un
10 dispositif inertiel, qui en étend donc les capacités.

Une originalité de la présente invention réside dans le type de couplage qu'elle propose, à savoir une technique utilisant un capteur absolu et une technique utilisant un capteur inertiel.

15 Le capteur absolu est la centrale d'attitude qui fournit des mesures absolues de positionnement angulaire du solide. Ces mesures sont exactes lorsque le solide est au repos ; mais elles sont susceptibles d'être entachées d'erreurs lorsque le
20 solide subit des accélérations, les erreurs étant d'autant plus importantes que les accélérations sont plus fortes.

Le capteur inertiel est constitué par un ou plusieurs accéléromètres dont la précision est aussi
25 grande que possible. On peut éventuellement utiliser trois accéléromètres ayant chacun un axe de sensibilité, les axes de sensibilité respectifs étant orthogonaux deux à deux, ou un accéléromètre ayant trois axes de sensibilité orthogonaux deux à deux.

30 Le procédé de mesure est alors le suivant.

On calcule les données de translation du

solide par une double intégration des signaux fournis par le ou les accéléromètres et l'on calcule les données de rotation à partir de la centrale d'attitude.

5 Cette centrale d'attitude est capable de déterminer si le mouvement en cours est rapide ou lent et donc si les valeurs qu'elle fournit sont exactes ou biaisées, par exemple par une évaluation de la valeur absolue de l'amplitude des mesures fournies par le ou les accéléromètres que comporte la centrale d'attitude.

10 Dans les phases de mouvement lent, les données de cette centrale d'attitude sont utilisées pour recalculer le mouvement du solide.

Dans les phases de mouvement rapide, les signaux de sortie du ou des accéléromètres (qui sont de 15 préférence de haute précision) sont intégrés deux fois et fournissent ainsi une réponse plus exacte que celle qui est fournie par la centrale d'attitude.

Il convient de noter que ce procédé ne couvre pas la capture de mouvements dans toute sa 20 généralité. Il couvre par contre idéalement le cas de la capture des mouvements du corps humain et, plus généralement, du corps d'un vertébré, voire d'un assemblage de segments rigides mécaniquement articulés. Dans certains cas, ce procédé est également applicable 25 quand un modèle a priori du mouvement du solide est connu, par exemple dans le cas d'un mouvement balistique.

Dans le cas du corps humain, on connaît la posture complète du corps grâce à une conjonction de 30 centrales d'attitude disposées sur les segments osseux. Cette mesure est entachée d'erreur en cas de mouvements

rapides du corps.

Un procédé conforme à l'invention consiste alors à utiliser la double intégration dans les phases où les mouvements du corps sont rapides (ces phases
5 étant en général courtes, car le corps ne peut effectuer que des mouvements périodiques) et à passer en mode de recalage chaque fois que les accélérations des mouvements du corps deviennent faibles.

La figure 1 est une vue schématique d'un
10 dispositif pour la mise en œuvre d'un procédé conforme à l'invention.

Ce dispositif permet de mesurer le mouvement d'un solide 2 et comprend :

- un ou plusieurs accéléromètres 4,
- 15 - un ou plusieurs accéléromètres 6 et/ou un ou plusieurs magnétomètres 8, et

- des moyens électroniques 10 prévus pour mémoriser et traiter, conformément à l'invention, les informations ou signaux fournis par le ou les
20 accéléromètres 4 et par le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8, et pour mémoriser les résultats du traitement.

Le ou les accéléromètres 4 ainsi que le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8
25 sont fixés au solide 2 dont on veut mesurer le mouvement. Les moyens électroniques 10 peuvent être solidaires, ou non, de ce solide 2.

Les moyens électroniques 10 sont donc prévus pour mettre en œuvre l'invention en coopérant
30 avec le ou les accéléromètres 4 et avec le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8.

En particulier, ils coopèrent avec le ou les magnétomètres 4 pour mettre en œuvre une méthode de mesure par double intégration et avec le ou les accéléromètres 6 et/ou le ou les magnétomètres 8 pour
5 mettre en œuvre une méthode de mesure absolue.

Sur la figure 1, la référence 12 symbolise une sortie des moyens électroniques 10, en laquelle on peut récupérer les résultats du traitement, par exemple en vue d'un affichage (en anglais « display ») de ces
10 résultats.

On considère dans ce qui suit des exemples de l'invention, dans lesquels on exploite conjointement des données angulaires et des données accélérométriques.

15 Le premier exemple se rapporte à une double intégration permanente recalée (en anglais « updated »).

Chaque point de mesure est équipé d'un ensemble de capteurs, comprenant de 1 à 3
20 accéléromètres et éventuellement de 1 à 3 magnétomètres.

Lorsque l'on utilise trois accéléromètres ayant chacun un axe de sensibilité, on les dispose avantageusement de façon que leurs axes de sensibilité
25 respectifs forment un trièdre trirectangle.

Il en est de même lorsque l'on utilise trois magnétomètres ayant chacun un axe de sensibilité.

Dans ce premier exemple, les données d'accélération sont intégrées deux fois en permanence.
30 Les signaux de sortie obtenus résultent donc de cette double intégration. Cependant, on sait que cette

dernière est sujette à une dérive dont l'amplitude dépend de la qualité du ou des accéléromètres utilisés.

Pour remédier à cet inconvénient, conformément à l'invention, on acquiert en parallèle, en permanence, les données de la centrale angulaire (accéléromètre(s) et éventuellement magnétomètre(s)).

Un indice de qualité de ces données angulaires est également calculé. Il s'agit d'une fonction de la norme $\|a\|$ du vecteur accélération par rapport à la norme de l'accélération g de la pesanteur, mesurée au repos, fonction qui peut être par exemple le rapport $\|a\| / \|g\|$.

Cet indice de qualité est utilisé en tant que critère de lenteur du mouvement ou, plus précisément, de lenteur de la variation de la vitesse de ce mouvement.

Lorsque le mouvement est suffisamment lent, ce que l'on détermine par exemple en comparant cet indice à un seuil prédéfini et en déterminant si l'indice est inférieur à ce seuil, alors les données angulaires sont utilisées pour calculer une position résultant du mouvement du solide étudié.

Cette position sert alors de position de départ pour la période de double intégration suivante.

Si le mouvement demeure quasi-statique, un recalage est effectué au bout d'un intervalle de temps défini par la précision que l'on attend des mesures, de façon que l'estimation de la dérive résultant de la double intégration demeure inférieure, dans cet intervalle de temps, à la précision voulue.

Le deuxième exemple, que l'on décrit en

faisant référence à la figure 2, se rapporte à une méthode dite du « bras de levier variable ».

Sur la figure 2, on voit deux pièces rigides 14 et 16 qui sont articulées par tout moyen approprié 18. Par exemple, la pièce 14, la pièce 16 et leur articulation 18 sont respectivement un bras et l'avant-bras et le coude correspondants.

Conformément à l'invention, l'avant-bras 16 est équipé de deux ensembles 20 et 22 espacés l'un de l'autre.

Chaque ensemble comporte de un à trois accéléromètres et constitue un point de mesure. Lorsqu'il comporte trois accéléromètres, ces derniers sont montés de façon que leurs axes de sensibilité forment un trièdre trirectangle. L'un au moins des deux points de mesure 20 et 22 comporte également trois magnétomètres dont les axes de sensibilité forment un trièdre avantageusement trirectangle.

Lors d'un mouvement de rotation de l'avant-bras 16, du genre de celui qui est symbolisé par la flèche R sur la figure 2, les deux ensembles 20 et 22 enregistrent des accélérations différentes puisque l'accélération enregistrée par un ensemble dépend de la distance de ce dernier au centre de rotation, à savoir le coude 18 dans l'exemple.

La différence des accélérations est utilisée pour évaluer la composante d'accélération après avoir éliminé la contribution de la pesanteur.

L'estimation de cette mesure est ensuite utilisée dans le calcul des angles de rotation (voir document [1]) en étant soustraite de l'accélération

totale, mesurée par l'un des deux ensembles, qui est alors pourvu de 6 capteurs (trois accéléromètres et trois magnétomètres). On accède ainsi à une mesure des angles, qui est débarrassée de la perturbation due à un
5 mouvement rapide.

Tous ces calculs se font dans des moyens électroniques de traitement 24 qui reçoivent les signaux fournis par les capteurs 20 et 22.

Le troisième exemple se rapporte à
10 l'exploitation d'un modèle du mouvement.

Dans ce troisième exemple, on s'appuie sur le fait que certains mouvements sont très limités en ce qui concerne le nombre de degrés de liberté. Par exemple, dans le cas du corps humain, une cuisse est
15 quasiment limitée à un unique degré de liberté de rotation dans les phases de marche et de course.

Dans ce cas, le mouvement considéré peut être décrit par un seul paramètre, voire par une seule valeur de ce paramètre. La valeur maximale de
20 l'accélération mesurée permet ainsi de connaître l'ensemble de la rotation.

Les considérations précédentes s'appuient sur des études physiologiques qui établissent de tels résultats.

25 Le procédé conforme à l'invention, que l'on met en œuvre dans ce troisième exemple, est alors le suivant.

Connaissant une position de départ facilement identifiable, parce qu'il s'agit soit d'une
30 position arrêtée, soit d'un rebroussement de rotation ou de translation, on mesure la valeur maximale de la

norme du vecteur accélération dans la phase qui suit,
au moyen de trois capteurs dont les axes de sensibilité
forment un trièdre trirectangle, jusqu'à ce que l'on
identifie et l'on connaisse une nouvelle étape
5 caractéristique.

On exploite l'ensemble de ces données pour
en extraire le paramètre nécessaire à la qualification
de l'ensemble du mouvement. Cette étape n'est plus
effectuée en temps réel, puisqu'elle nécessite de
10 connaître l'ensemble du mouvement, mais avec un (léger)
différé.

On donne dans ce qui suit d'autres exemples
de l'invention.

15 On rappelle d'abord que les techniques de
mesure de déplacement, qui sont fondées sur les
capteurs inertiels, souffrent toutes du même défaut, à
savoir d'une dérive des mesures, provenant de la double
intégration de bruits d'origines diverses (notamment
20 des bruits électroniques et des bruits physiologiques),
bruits qui s'ajoutent au signal à mesurer.

Selon un aspect de la présente invention,
on résout ce problème à l'aide d'une technique fondée
sur un dispositif connu par le document [1], permettant
25 de mesurer des angles de façon absolue, au moyen de
capteurs d'inclinaison et de capteurs de champ
magnétique.

L'originalité de cette technique repose sur
la mise en oeuvre des trois modes opératoires
30 suivants :

- mesure absolue d'angles au moyen d'un ou

de plusieurs accéléromètres et/ou d'un ou de plusieurs magnétomètres,

- utilisation de modèles comportementaux (voir l'exemple ci-dessous du corps humain), permettant
5 de relier des angles, qui sont mesurés de façon absolue, à des translations effectives dans l'espace du solide mobile (par exemple une main), et

- calcul de déplacements par double intégration de signaux issus d'accéléromètres ayant de
10 préférence une haute précision.

A la mise en oeuvre conjointe de ces trois modes opératoires, il est en outre préférable d'ajouter une méthode appropriée de fusion des données recueillies, qui est exposée ci-après.

15 Cette méthode est en fait analogue au procédé de fusion de données décrit dans le document [1]. La complexité de ce cas provient du fait que, ici, on autorise un mouvement suffisamment rapide pour qu'il introduise une composante d'accélération se superposant
20 à la gravité. Cette composante d'accélération ajoute 3 inconnues supplémentaires (selon les 3 axes). Mais les accéléromètres de haute précision apportent aussi une information supplémentaire.

L'algorithme est le suivant :

25 (a) on prend comme état du mouvement l'état calculé au pas précédent (position, vitesse, accélération),

(b) on en déduit les valeurs de mesure attendues en sortie des capteurs,

30 (c) à l'aide d'une technique d'optimisation mathématique classique (par exemple la méthode de

descente de gradient ou des méthode analogues plus récentes), on corrige les valeurs d'état initiales du mouvement, et

(d) on retourne à l'étape (a) jusqu'à ce
5 que les valeurs estimées en sortie des capteurs soient suffisamment proches des valeurs réelles mesurées.

On donne dans ce qui suit un exemple de l'invention, relatif à la capture des mouvements du corps humain, à six degrés de liberté.

10

Cet exemple est schématiquement illustré par la figure 3. Il est limité au bras dans ce qui suit mais généralisable à l'ensemble du corps.

Sur la figure 3, les références 26, 28, 30,
15 32 et 34 représentent respectivement l'épaule, le bras, le coude, l'avant-bras et la main.

Les positions initiale et finale de la main ont respectivement les références 36 et 38.

Le mouvement de la main, qui effectue une
20 translation verticale d'amplitude D , se traduit par une rotation d'angle α autour du coude et éventuellement, selon l'amplitude de la translation, par une autre rotation autour de l'épaule.

Au lieu de mesurer directement D , on peut
25 donc mesurer α . Connaissant la longueur \underline{r} de l'avant-bras, on en déduit l'amplitude D de la translation .

Cette technique conforme à l'invention présente l'avantage de ne reposer que sur des mesures absolues : elle est donc exempte de dérives.

30

Il convient de noter que cette technique utilise entre autres un ou plusieurs accéléromètres

(fixés à l'avant-bras mais non représentés) pour mesurer l'angle α . Cela suppose que de tels capteurs mesurent la pesanteur et permettant donc de connaître leurs inclinaisons respectives par rapport à la
5 verticale.

Dans le cas d'un mouvement rapide, le ou les accéléromètres mesurent en plus l'accélération résultant d'un tel mouvement, de sorte que la mesure d'angle est faussée.

10 Une technique connue par le document [1] permet de résoudre partiellement ce problème.

Elle consiste à diminuer la contribution du ou des accéléromètres au profit du ou des magnétomètres dans le calcul du ou des angles. Mais cette technique
15 n'est que partiellement efficace et dépend du mouvement effectué.

Une technique proposée dans la présente invention est capable de compléter la précédente et n'est pas limitée par le type de mouvement permis.

20 Cette technique est exposée ci-après.

Dès que l'on détecte un mouvement rapide (il suffit pour ce faire de calculer la norme du vecteur accélération)

25 - on calcule par double intégration le déplacement du capteur, en prenant pour point de départ l'état du solide mobile (l'avant-bras dans l'exemple) lors du début de la phase rapide,

- on corrige simultanément une éventuelle dérive, en fusionnant les données magnétométriques, et

30 - dès que le mouvement ralentit, on repasse en mode absolu.

On fait ainsi disparaître une éventuelle dérive qui est susceptible d'apparaître pendant la phase d'intégration.

La fusion des données magnétométriques
5 consiste à utiliser, conjointement à la double
intégration, une estimation du mouvement rapide
utilisant les seuls magnétomètres. Cette dernière
technique a été décrite plus haut (diminuer la
contribution du ou des accéléromètres au profit du ou
10 des magnétomètres dans le calcul du ou des angles).

D'une part, la double intégration fournit
en théorie le mouvement complet, mais elle est sujette
à dérive.

D'autre part, les magnétomètres fournissent
15 une estimation partielle (excluant les rotations autour
de l'axe du champ terrestre) mais non sujette à dérive.

Une fusion possible consiste à estimer le
mouvement à partir de la double intégration, à en
déduire des mesures magnétiques estimées, et à utiliser
20 la différence entre ces dernières et les mesures
magnétiques réelles pour corriger le mouvement estimé
par une technique de type "descente de gradient".

De plus, on peut mettre en oeuvre un
algorithme de fusion entre la méthode de double
25 intégration et la méthode de mesure absolue, en passant
de l'une à l'autre non pas de façon discontinue mais
graduellement, en diminuant progressivement la
contribution absolue des accéléromètres et en
augmentant progressivement l'influence de la double
30 intégration lorsque le mouvement accélère, et
inversement en phase de décélération.

Pour ce faire (diminution et augmentation progressives), on procède par exemple de la façon exposée ci-après.

On estime l'état du mobile (position, vitesse, accélération) à partir du dernier état connu et de la double intégration des accéléromètres de haute précision. On en déduit des estimations des données magnétométriques et accélérométriques du système de mesure absolue des angles (centrale d'attitude). On calcule une distance entre ces estimations et les mesures réelles. On corrige le mouvement estimé en appliquant une méthode de type "descente de gradient".

La correction en question est paramétrée : elle est d'autant plus importante que le mouvement est lent, le critère étant par exemple le rapport de la norme du vecteur accélération à la norme de g , rapport qui a été mentionné plus haut.

Ainsi, un mouvement très lent n'utilise pas les informations provenant de la double intégration, alors qu'un mouvement très rapide les utilise exclusivement.

L'invention présente tous les avantages de la technique qui est décrite dans le document [1]:

- elle peut être mise en œuvre de façon peu coûteuse,
- elle ne nécessite aucun équipement extérieur, tels que des sources magnétiques ou des caméras, et
- elle peut être mise en œuvre avec des algorithmes robustes.

De plus, l'invention conduit à des mesures

fiables même dans le cas de mouvements rapides.

En outre, la présente invention peut être mise en œuvre avec une centrale d'attitude dont la précision angulaire est inférieure ou égale à 1° et
5 avec des accéléromètres à au moins 10 bits (avantageusement de 14 à 16 bits).

On précise que le critère de « lenteur du mouvement », que l'on a mentionné plus haut, est fonction de la précision que l'on veut obtenir sur le
10 mouvement. Un but de l'invention étant de séparer l'accélération du solide de l'accélération de la pesanteur, tant que la norme de l'accélération du solide reste inférieure à $\frac{1}{10} \|g\|$ (peu différent de 1m/s^2), le mouvement sera considéré comme lent et le
15 procédé mènera à une précision acceptable.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure du mouvement d'un solide (2, 16, 32), procédé dans lequel on mesure au moins un premier degré de liberté de ce solide, ce
5 procédé comprenant une série d'étapes de mesure de l'accélération du solide et de double intégration des mesures ainsi effectuées pour obtenir des valeurs successives du premier degré de liberté, ce procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en
10 outre une série d'étapes de mesure absolue d'au moins un deuxième degré de liberté du solide, ce deuxième degré de liberté étant une rotation, à l'aide d'au moins un capteur de rotation (6, 8), et en ce que l'on choisit un critère de lenteur du mouvement et, si le
15 mouvement satisfait à ce critère après l'une des étapes de mesure du deuxième degré de liberté, on utilise la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, pour recalculer le premier degré de liberté.

20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on utilise la mesure du deuxième degré de liberté, obtenue à cette étape, en tant que condition initiale pour obtenir, par double intégration, la valeur du premier degré de liberté qui suit les valeurs
25 précédemment obtenues de ce premier degré de liberté.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel on mesure une pluralité de premiers degrés de liberté, au moins l'un
30 des premiers degrés de liberté est une rotation et le

deuxième degré de liberté est choisi parmi cette pluralité de premiers degrés de liberté.

4. Procédé selon l'une quelconque des
5 revendications 1 à 3, dans lequel le premier degré de liberté est une rotation et le deuxième degré de liberté est identique à ce premier degré de liberté.

5. Procédé selon l'une quelconque des
10 revendications 1 à 4, dans lequel chaque étape de mesure absolue a lieu en même temps qu'une étape de mesure de l'accélération du solide (2, 16, 32).

6. Procédé selon l'une quelconque des
15 revendications 1 à 5, dans lequel le capteur de rotation est choisi parmi les accéléromètres (6) et les magnétomètres (8).

7. Procédé selon l'une quelconque des
20 revendications 1 à 6, dans lequel le critère de lenteur du mouvement est la situation d'une fonction de la norme de l'accélération du solide (2, 16, 32) en deçà d'un seuil prédéfini.

25 8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la fonction de la norme de l'accélération du solide (2, 16, 32) est cette norme elle-même.

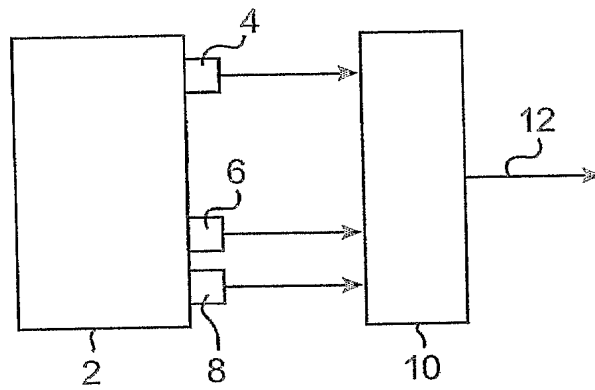


FIG. 1

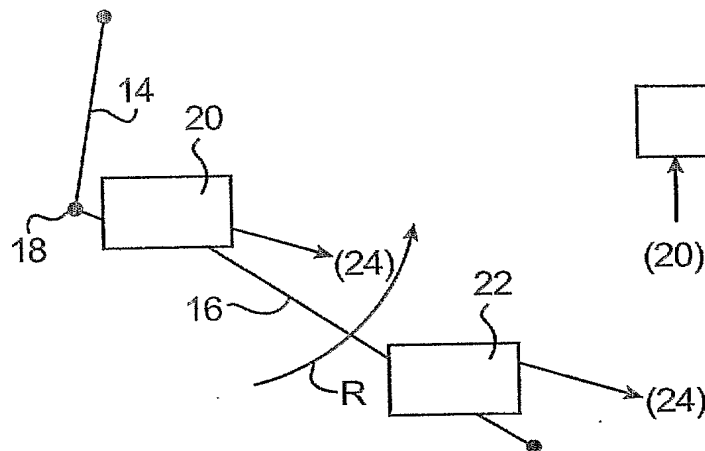


FIG. 2

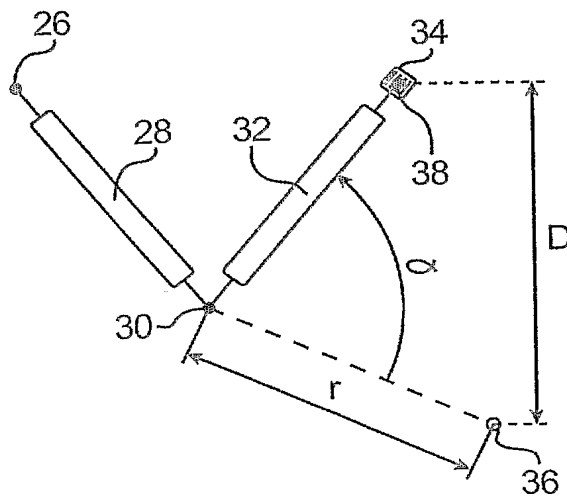


FIG. 3

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITE****Désignation de l'inventeur**

Vos références pour ce dossier	B 14469 PV DD 2633
N°D'ENREGISTREMENT NATIONAL	
TITRE DE L'INVENTION	
	PROCEDE DE MESURE DU MOUVEMENT D'UN SOLIDE, UTILISANT UNE MESURE ABSOLUE ASSOCIEE A UNE MESURE PAR DOUBLE INTEGRATION
LE(S) DEMANDEUR(S) OU LE(S) MANDATAIRE(S):	
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S):	
Inventeur 1	
Nom	DAVID
Prénoms	Dominique
Rue	22, chemin du Mollard
Code postal et ville	38640 CLAIX - FRANCE
Société d'appartenance	

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique aux fichiers et aux libertés s'applique aux réponses faites à ce formulaire. Elle garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant auprès de l'INPI.

Signé par

Signataire: FR, Brevatome, J.Lehu

Emetteur du certificat: DE, D-Trust GmbH, D-Trust for EPO 2.0

Fonction

Mandataire agréé (Mandataire 1)

PC17FR0004050729

